

Analysis of an Example of the Pipe Jacking Construction Technology

Minghao Yang

Tianjin Water Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

As a kind of trenchless construction technology, pipe jacking construction technology is widely used in the installation, repair and replacement of pipelines that are not allowed to be excavated when pipeline engineering crosses roads, railways, bridges, rivers and urban built-up areas. Compared with the traditional excavation construction, pipe jacking has the advantages of short construction period, less dependence on the surrounding environment, no impact on the ground traffic and the original landform. Therefore, pipe jacking has been widely used in raw water and municipal pipeline engineering, communication and power cable engineering. Based on the pipe jacking project of a raw water pipeline in the coastal area of North China, this paper analyzes the key point that should be paid attention to before pipe jacking operation-jacking force calculation through an engineering example.

Keywords

pipe jacking construction; jacking force calculation; back reaction force

顶管施工技术应用实例分析

杨明浩

天津水务集团有限公司, 中国·天津 300000

摘 要

顶管施工技术作为非开挖施工技术的一种广泛应用于管线工程穿越公路、铁路、桥梁、河流以及城市建成区等不允许开挖的管道安装、修复及更换施工。与传统开挖施工相比, 顶管作业具有施工周期短、对周边环境依赖小、不影响地上交通及原有地貌等优点。因此, 在原水及市政管线工程、通信及电力电缆工程中, 顶管施工得到了广泛应用。论文以华北沿海地区某原水管线顶管工程为背景, 通过工程实例分析顶管作业前应加以注意的重点—顶力计算。

关键词

顶管施工; 顶力计算; 后背反力

1 引言

顶管施工作业前, 需根据顶进延程线路所在土层与管材外壁摩阻系数、管材管径等因素计算确定总顶力值, 这对于选择适合的顶管机械、设置适合的后背铁、选用适合的管材(须考虑管材本身最大允许顶力)、中继间的设置等至关重要, 尤其是对于确保施工作业稳定安全进行具有重要意义。

2 背景工程概况

本工程主要内容为新建供水工程输水管线, 共 33.26km (其中输水干线 32.88km, 支线 0.38km), 工程设计流量为 $3.2\text{m}^3/\text{s}$ (其中输水干线为 $2.5\text{m}^3/\text{s}$, 支线为 $0.7\text{m}^3/\text{s}$)。

工程建设内容为公路穿越工程, 主要包括穿越 5 条公

路及 1 座大桥。全长 1.134km, 里程为 A6+758-A6+958, A17+585-A17+770, A25+965-A26+230, A26+996-A27+090, A28+955-A29+205, A30+115-A30+255。各段施工须根据顶管线路所处环境设置顶管主副工作坑, 并根据岩土勘察报告验算顶力。

3 顶管工作井制作

3.1 工作井内、外排水

开挖前先在工作井对角各打一眼 20m 井径为 $\phi 500$ 大口井用以降低地下水。在工作井内设置 $\phi 500$ 集水井, 井深基础下 0.8m, 井内设 4 寸潜水泵抽水, 昼夜排水。

3.2 基坑支护

基坑采取工字钢桩支护。首先将工作井场地进行平整, 后背进行培土夯实。在工作坑后背竖排密接打 40#b 工字钢桩, 另两侧均三横一丁咬打 40# 工字钢桩, 桩长 18m。工作坑四周均用 36# 工字钢焊接三道成双矩形框架支撑加固, 并随基坑开挖加设支撑, 在四角加焊 45° 三角支撑, 支撑长

【作者简介】杨明浩(1984—), 男, 中国天津人, 硕士, 工程师, 从事市政水利建筑工程研究。

向加焊二根钢管撑。接收井四周施打 18m 长 36# 工字钢桩,接收井四周采用三横一丁咬打。在工作井的前方浇筑一座与工作坑同宽、高 3m,厚为 0.5m 的素砼土墙做止水墙,在止水墙的中间预留洞口,洞口中心线与所顶管子的中心轴线保持一致,在洞口安装止水圈。在工作井的后方浇筑一座与工作坑同宽、高 4m,厚为 0.5m 的钢砼墙做后背墙。工作井采用水泥搅拌桩双排咬打方式进行止水以提高止水效果,水泥搅拌桩桩长 14m,直径 $\phi 700$,互相咬合 300mm,第一排水泥搅拌桩与第二排水泥搅拌桩相互咬合 300mm。接收井采用水泥搅拌桩单排咬打方式,桩长 14 米,直径 $\phi 700$,互相咬合 300mm,深层水泥搅拌桩水泥掺入量为 17%。

3.3 工作井基础做法

工作井基础采用碎石垫层为 300mm 厚,其上做 C30 混凝土底板,厚度为 400mm,基础内预埋 20# 螺纹钢,焊成 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 网状,并与坑壁矩形框架焊接(后背除外)。其上焊两条导轨,导轨安装允许偏差为:轴线位置 3mm,顶面高程 0~3mm,两导轨内距 $\pm 2\text{mm}$ 。安装时,每条导轨选 4 点测其高程,高程必须一致。

3.4 顶进设备安装

把地面上建立的测量控制网引至工作井内,并建立相应的地面控制点,便于顶进施工时复测,并工作坑内精确测放轴线^[1]。

①稳置轨道。

轨道采用钢制轨道,根据设计管道的标高、坡度进行轨道安装,轨道中心线与管道中心线在同一垂直平面内,轨道与底板基础连接牢固。

②主顶油缸架稳置。

依照轨道和管道中心线、高程为参考,进行稳置主顶油缸底架,油缸底架中心线与所顶管道中心线在同一垂直平面内。

③后背铁稳置。

后背铁采用钢制后背铁,尺寸见顶力设计与计算。后背铁受力面要平直,具有足够刚度和强度。后背铁安装要紧靠工作井后背 0.2m 厚钢筋砼墙,与工作井底板充分接触并与管道中心线垂直。

4 顶力计算依据

CECS 246—2008《给排水工程顶管技术规程》。

5 顶力设计与计算

顶力计算选用工程实例中 2 个路段及 1 座桥梁处顶管施工为例。验算过程中,所选用土体内摩擦角及土容重等参数均出自工程地质岩土勘察报告^[2]。

5.1 A 路段顶管

所用管材: DN2600 钢筋混凝土套管,壁厚 260mm,外径 3.12m,每节长 2m。

顶管起点桩号: A6+768.31,顶进所在土层标高:

-1.54~-4.66,由此并根据工程地质勘察报告,土体内摩擦角 ϕ 取 14° ,土容重 γ 取 19.1kN/m^3 , $K_{0\text{净土}}$ 压系数按土质取 0.4。

工作坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 = $11 \times 7 \times 9$ 。

接受坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 = $10 \times 7 \times 10$ 。

后背铁尺寸: 高 \times 宽 \times 厚 = $3.5 \times 3.5 \times 0.2$ 。

①控制土压力值 $P=K_0 \times \gamma \times h$ 。

h 为地面至掘进机中心的厚度,本处取值考虑工作坑深度、所用掘进机型号及坑基础厚度与其他因素,取值 6.5m。

从而:

$$P=0.4 \times 19.1 \times 6.5=50\text{kPa}$$

②顶管机初始推力 $F_0=P \times \pi \times R^2$ 。

R 为顶进管材有效半径,本处顶管取值 $3.12/2=1.56\text{m}$ 。

从而:

$$F_0=50 \times 3.14 \times (3.12/2)^2=382\text{kN}$$

③一次顶进管子阻力 $P_0=f \times \pi \times D \times L$ 。

f 顶进磨阻系数,依据规范标准,采用成熟触变泥浆减阻技术的顶管工艺可取值 5。

D 为管外径, L 为顶进距离,此处顶进总距离为 180m,依据规范要求,应设一处中继间,故一次顶进距离为 $180/2=90\text{m}$ 。从而:

$$P_0=5 \times 3.14 \times 3.12 \times 90=4409\text{kN}$$

④一次顶进总推力 $F=F_0+P_0=382+4409=4791\text{kN}$ 。

⑤每延米推力为 $4791/90=53\text{kN}$ 。

⑥后背反力计算 $S=K_p \times \gamma \times h_3(h_1+2h_2+h_3)b/2F$ 。

K_p 被动土压力系数 $=\text{tg}^2(45^\circ+\phi/2)=\text{tg}^2 52^\circ=1.64$, h_1 、 h_2 与 h_3 值依据工作坑与后背铁尺寸以及钢板桩入土深度确定,从而: $S=1.64 \times 19.1 \times 8.5 \times (5.5+2 \times 3.5+8.5) \times 3.5/2 \times 4791=2.04 > 1$,安全。

5.2 B 路段直顶钢管

所用管材: DN1600 钢管,外径 1.64m,每节长 6m。

顶管起点桩号: A28+970,顶进所在土层标高: 3.30~1.70,由此并根据工程地质勘察报告,土体内摩擦角 ϕ 取 12° ,土容重 γ 取 18kN/m^3 , $K_{0\text{净土}}$ 压系数按土质取 0.45。

工作坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 = $11 \times 6 \times 8.8$ 。

接受坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 = $10 \times 6 \times 9.6$ 。

后背铁尺寸: 高 \times 宽 \times 厚 = $2.5 \times 2.5 \times 0.2$ 。

①控制土压力值 $P=K_0 \times \gamma \times h$ 。

h 为地面至掘进机中心的厚度,本处取值考虑工作坑深度、所用掘进机型号及坑基础厚度与其他因素,取值 6.7m。

从而:

$$P=0.45 \times 18 \times 6.7=54\text{kPa}$$

②顶管机初始推力 $F_0=P \times \pi \times R^2$ 。

R 为顶进管材有效半径,本处顶管取值 $1.64/2=0.82\text{m}$ 。

从而:

$$F_0=54 \times 3.14 \times (1.64/2)^2=114\text{kN}$$

③一次顶进管子阻力 $P_0=f \times \pi \times D \times L$ 。

f 顶进磨阻系数, 依据规范标准, 采用成熟触变泥浆减阻技术的顶管工艺可取值 5。

D 为管外径, L 为顶进距离, 此处顶进总距离为 105m。从而:

$$P_0=5 \times 3.14 \times 1.64 \times 105=2703\text{kN}$$

④一次顶进总推力 $F=F_0+P_0=114+2703=2817\text{kN}$ 。

⑤每延米推力为 $2817/105=27\text{kN}$ 。

⑥后背反力计算 $S=K_p \times r \times h_3(h_1+2h_2+h_3)b/2F$ 。

K_p 被动土压力系数 $=\text{tg}^2(45^\circ+\phi/2)=\text{tg}^2 51^\circ=1.51$, h_1 、 h_2 与 h_3 值依据工作坑与后背铁尺寸以及钢板桩入土深度确定, 从而: $S=1.51 \times 18 \times 8.7 \times (6.3+2 \times 2.5+8.7) 2.5/2 \times 2817=2.10 > 1$, 安全。

5.3 A 大桥段顶管

所用管材: DN2400 钢筋混凝土套管, 壁厚 230mm, 外径 2.86m, 每节长 2m。

顶管起点桩号: A30+243, 顶进所在土层标高: 3.23~0.37, 由此并根据工程地质勘察报告, 土体内摩擦角 ϕ 取 18° , 土容重 r 取 19KN/m^3 , K_0 土压力系数按土质取 0.45。

工作坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 $=11 \times 7 \times 8.9$ 。

接受坑尺寸: 长 \times 宽 \times 深 $=10 \times 7 \times 8$ 。

后背铁尺寸: 高 \times 宽 \times 厚 $=3.5 \times 3.5 \times 0.2$ 。

①控制土压力值 $P=K_0 \times r \times h$ 。

h 为地面至掘进机中心的厚度, 本处取值考虑工作坑深度、所用掘进机型号及坑基础厚度与其他因素, 取值 6.4m。从而:

$$P=0.45 \times 19 \times 6.4=55\text{kPa}$$

②顶管机初始推力 $F_0=P \times \pi \times R^2$ 。

R 为顶进管材有效半径, 本处顶管取值 $2.86/2=1.43\text{m}$ 。从而:

$$F_0=55 \times 3.14 \times (2.86/2)^2=353\text{kN}$$

③一次顶进管子阻力 $P_0=f \times \pi \times D \times L$ 。

f 顶进磨阻系数, 依据规范标准, 采用成熟触变泥浆减阻技术的顶管工艺可取值 5。

D 为管外径, L 为顶进距离, 此处顶进总距离为 116m。从而:

$$P_0=5 \times 3.14 \times 2.86 \times 116=5208\text{kN}$$

④一次顶进总推力 $F=F_0+P_0=353+5208=5561\text{kN}$ 。

⑤每延米推力为 $5561/116=48\text{kN}$ 。

⑥后背反力计算 $S=K_p \times r \times h_3(h_1+2h_2+h_3)b/2F$ 。

K_p 被动土压力系数 $=\text{tg}^2(45^\circ+\phi/2)=\text{tg}^2 54^\circ=1.90$, h_1 、 h_2 与 h_3 值依据工作坑与后背铁尺寸以及钢板桩入土深度确定, 从而: $S=1.90 \times 19 \times 8.6 \times (5.4+2 \times 3.5+8.6) 3.5/2 \times 5561=2.05 > 1$, 安全。

6 结论

6.1 安全技术可行性

根据方案中设计的工作坑尺寸及后背铁尺寸, 经过验算, 安全系数均大于 1, 可以满足顶进要求^[1]。

6.2 经济可行性

在满足安全技术可行性的前提下, 通过验算, 可以确定工作坑开挖深度及后背铁尺寸, 进而确定所选用支护桩长度及类型等技术参数, 有效控制开挖土方量, 控制施工成本^[4]。

7 结语

顶管施工技术作为非开挖施工技术的一种, 广泛应用于各类管道施工工程。顶力验算作为制定专项施工方案中不可或缺的一环, 验算结果在确保施工安全、工程质量以及降低工程造价及施工成本等方面都具有重要意义。

参考文献

- [1] 池玉宇, 杨益平, 许自立, 等. 过街地道矩形顶管施工变形监测分析及预防措施探究[J]. 工程质量, 2020, 38(8): 40-45.
- [2] 李明杰, 刘晓. 市政电力隧道顶管施工技术[J]. 智能城市, 2020, 6(21): 106-107.
- [3] 许平凡. 顶管管土接触模型及顶进力计算分析[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2020.
- [4] 李亮, 江莹. 城市道路改造中污水顶管施工技术的应用分析[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(5): 1-2+5.